

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda
Constructed wetlands for wastewater treatment

SEMINARSKI RAD

Laura Ana Jurman
Preddiplomski studij Znanosti o okolišu
(Undergraduate study of Environmental sciences)
Mentor: prof. dr. sc. Jasna Hrenović

Zagreb, 2017.

SADRŽAJ

1. Uvod	3
2. Biljni uređaji	4
2.1. Tipovi biljnih uređaja	4
2.1.1. Biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem (BUSV)	4
2.1.2. Biljni uređaji s podpovršinskim tokom (BUPT)	5
2.1.2.1. Biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom (BUVPT)	5
2.1.2.2. Biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom (BUHPT)	6
2.1.3. Hibridni biljni uređaji (HBU)	7
2.2. Močvarna vegetacija	8
3. Princip pročišćavanja biljnim uređajem	9
3.1. Predtretman otpadne vode	9
3.2. Uklanjanje organskih tvari i suspendiranih čestica	10
3.3. Uklanjanje fosfora i dušika	11
3.4. Uklanjanje patogena	12
4. Literatura	13
5. Sažetak	14
6. Summary	14

1. UVOD

Velikom urbanizacijom i porastom broja stanovnika od kraja 19. stoljeća do danas mnoga su prirodna staništa uništena ili zagađena. Industrijalizacijom dolazi do stvaranja ogromnih količina otpadnih voda kojima se onečišćuju ili zagađuju kopnene vode. Onečišćenje voda je promjena kakvoće voda, koja nastaje unošenjem, ispuštanjem ili odlaganjem u vode hranjivih i drugih tvari, toplinske energije, te drugih uzročnika zagađenja, u količini kojom se mijenjaju svojstva voda u odnosu na njihovu ekološku funkciju i namjensku uporabu (NN 107/95). Porast svijesti o očuvanju okoliša potakla je razvoj tehnologije obrade otpadnih voda u skladu s rastućim brojem zakona o zaštiti okoliša. Zahtjevi za obradu otpadnih voda uključuju mogućnost ponovne upotrebe iste u industriji ili u poljoprivredi za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Prirodni procesi pročišćavanja voda oduvijek su se odvijali u rijekama, jezerima, vodotocima i močvarama, a ekosustavi u kojima dominiraju vodene biljke su najproduktivniji. Visoka produktivnost rezultat je velikih aktivnosti mikroorganizama, što ukazuje i na veličinu kapaciteta tih sustava za razgradnju organskih tvari. Koristeći se tim saznanjima 1952. godine na njemačkom institutu Max Planck započela su istraživanja uporabe močvarnih biljaka u svrhu pročišćavanja otpadnih voda u umjetnim močvarama koje nazivamo biljni pročišćivači ili uređaji. Nakon toga su se u cijelom svijetu nastavila istraživanja i eksperimentiranja na biljnim pročišćivačima sve do danas. Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda prirodna su alternativa konvencionalnim tehničkim metodama za pročišćavanje otpadnih voda (Šperac i sur, 2013.).

2. BILJNI UREĐAJI

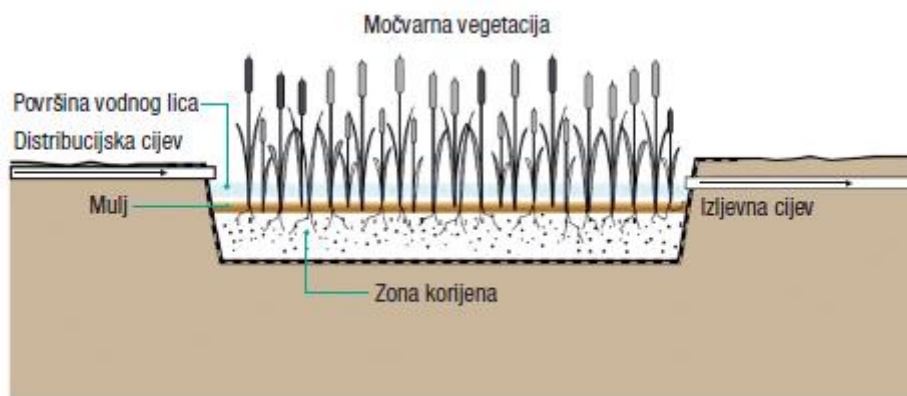
Biljni uređaji su umjetno oblikovane močvare s ciljem stvaranja uvjeta kojima se pospješuje pročišćavanje otpadnih voda koje kroz njih protječu (Malus i Vouk, 2012.). Sastoje se od više bazena, kroz koje prolazi otpadna voda. Prilikom izgradnje i projektiranja biljnih uređaja projektantima je dana mogućnost utjecaja na odabir supstrata, tip vegetacije i vrstu protoka vode kroz sustav, vodeći računa o tome da se proces pročišćavanja odvija pomoću bioloških, fizikalnih i kemijskih procesa, kao što su sedimentacija, precipitacija, adsorpcija, asimilacija putem biljnih tkiva i mikroba razgradnja (Šperac i sur, 2013.). Zbog opasnosti od gubitka vode procjeđivanjem u tlo, a ujedno i onečišćenja podzemnih voda, dno biljnih uređaja treba biti nepropusno ili slabo propusno što se može postići korištenjem glina koje su same po sebi slabo propusne ili vodonepropusnih obloga od sintetskih materijala (Malus i Vouk, 2012.). Prednost ovakvog uređaja je jednostavnost upotrebe, niski troškovi gradnje, održavanja i eksploatacije uređaja, te visoki stupanj pročišćavanja. Pogodno je za korištenje u ruralnim područjima gdje ne postoje sustavi kanalizacije. Održavanje uređaja je jednostavno, a najbitnije da za njegov rad nije potrebna električna energija. Mogu se koristiti za pročišćavanje voda kanalizacija, industrija ili poljoprivredne otpadne vode (Vučinić i sur., 2011.).

2.1. TIPOVI BILJNIH UREĐAJA

Biljne uređaje, obzirom na protok vode kroz njih, dijelimo na uređaje sa slobodnim vodnim licem i uređaje s podpovršinskim tokom te na uređaje s vertikalnim protokom i horizontalnom protokom.

2.1.1. Biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem (BUSV)

Sastoje se od relativno plitkih močvarnih bazena ili kanala kroz koje otpadna voda slobodnim tokom teče prema ispustu, dok je površina vode direktno izložena utjecaju atmosfere. Određeni je dio površine uređaja prekriven močvarnom vegetacijom, koja ima važnu ulogu u procesima pročišćavanja i funkcioniranju uređaja te izgledom nalikuju prirodnim močvarama (slika 1) (Malus i Vouk, 2012.). Stanište je za brojne biljne i životinjske vrste. Blizu površinskog sloja vode odvijaju se aerobni procesi, dok se u dubljoj vodi i podlozi uglavnom odvijaju anaerobni procesi (Šperac i sur, 2013.). Dno i pokosi bazena ili kanala obavezno se oblažu vodonepropusnim materijalom kako bi se spriječilo procjeđivanje nepročišćene vode u podzemlje, ali se mora i nasipati dodatni sloj zemlje na nepropusnu površinu da se omogući zakorjenjivanje močvarne vegetacije (Malus i Vouk, 2012.). Potrebno je osigurati ravnomjerno dotjecanje otpadne vode po čitavom presjeku kako bi se izbjeglo stvaranje tzv. mrtvih zona, koje ne sudjeluju u pročišćavanju ili sudjeluju sa smanjenim djelovanjem, što u konačnici rezultira smanjenom učinkovitošću pročišćavanja cjelokupnog uređaja. Danas se ovakav tip uređaja rjeđe koristi kao samostalno postrojenje, nego je češće kao posljednji bazen kod izvedbe hibridnih biljnih uređaja (Malus i Vouk, 2012.).



Slika 1: Biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem, preuzeto iz Malus i Vouk, 2012.

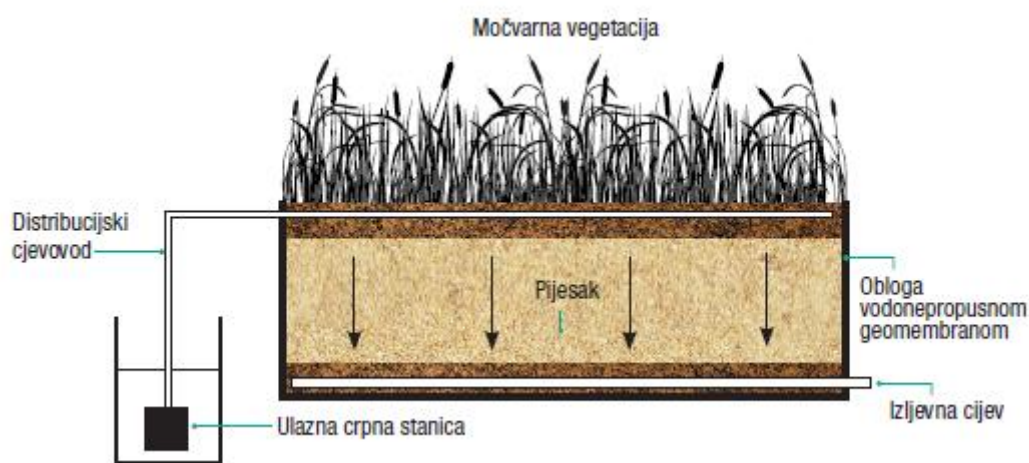
2.1.2. Biljni uređaji s podpovršinskim tokom (BUPT)

To su plitki kanali ili međusobno povezani bazeni, obloženi vodonepropusnim materijalom i ispunjeni poroznim supstratom te takav uređaj nije izložen utjecaju atmosfere (Šperac i sur, 2013.). Kao supstrat koriste se pijesak, šljunak i kamen odgovarajuće granulacije. Tečenjem otpadne vode kroz supstrat dolazi do uklanjanja otpadne tvari procesima filtracije, sorpcije, taloženja i biološke razgradnje organske tvari. Može imati horizontalni ili vertikalni smjer toka otpadne vode te takav uređaj funkcionira kao horizontalni ili vertikalni prokapnici s mikroorganizmima pričvršćenima na supstrat. (Malus i Vouk, 2012.). Prednost ovog tipa je neovisnost o klimatskim uvjetima, odsustvo neugodnih mirisa i insekata i vrlo se lijepo uklapa u okoliš kao zasebno formiran ekosustav (Šperac i sur, 2013.).

2.1.2.1. Biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom (BUVPT)

Ova vrsta uređaja se sastoji od triju karakterističnih slojeva odgovarajuće debljine i karakteristika supstrata (slika 2): površinskog sloja sa supstratom od krupnog šljunka, središnjeg filtarskog sloja sa supstratom od pijeska srednje do krupne granulacije i pridnenog drenažnog sloja sa supstratom od krupnog šljunka. Prethodno izbistrena otpadna voda distribuira se po čitavoj površini uređaja kroz mrežu distribucijskih cijevi čime se osigurava ravnomjerna raspodjela otpadne vode unutar uređaja, što je neophodno za njegov uspješan rad. Istjecanje otpadne vode iz distribucijskih cijevi osigurano je kroz male otvore koji se buše na odgovarajućim razmacima. Nakon toga otpadna voda pod djelovanjem gravitacije vertikalno se procjeđuje kroz čitavo tijelo biljnog uređaja i na tom se putu odvija njezino pročišćavanje. Središnji je filtarski sloj najaktivniji u procesu pročišćavanja otpadnih voda te je zato on i najdeblji. Pridneni drenažni sloj ima funkciju dreniranja pročišćene i procijeđene vode te se unutar njega polažu drenažni odvodni cjevovodi, kroz koje pročišćena voda otječe iz uređaja do kontrolnog okna. Iznimno je važno osigurati isprekidano dotjecanje otpadne vode. U periodu mirovanja između dva dotjecanja otpadne vode na površinu uređaja omogućeno je prozračivanje središnjeg filtarskog sloja

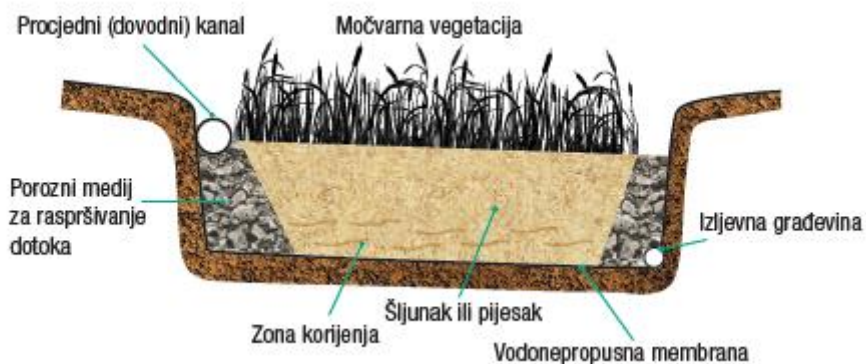
jer dolazi do prodora zraka u pore ispune, što je važno za održavanje aerobnih uvjeta razgradnje organske tvari i postizanje potpune nitrifikacije (Malus i Vouk, 2012.).



Slika 2: Biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom, preuzeto iz Malus i Vouk, 2012.

2.1.2.2. Biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom (BUHPT)

Kod ovih uređaja voda teče horizontalno kroz porozan supstrat (slika 3). Supstrat se sastoji od tri zone karakteristične debljine i sastava. Uljevni dio sadrži supstrat krupnije granulacije (krupan šljunak, kamen), glavni središnji filterski dio supstrat od šljunka ili pijeska te izljevni drenažni dio supstrat krupnije granulacije.



Slika 3: Biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom, preuzeto iz Malus i Vouk, 2012.

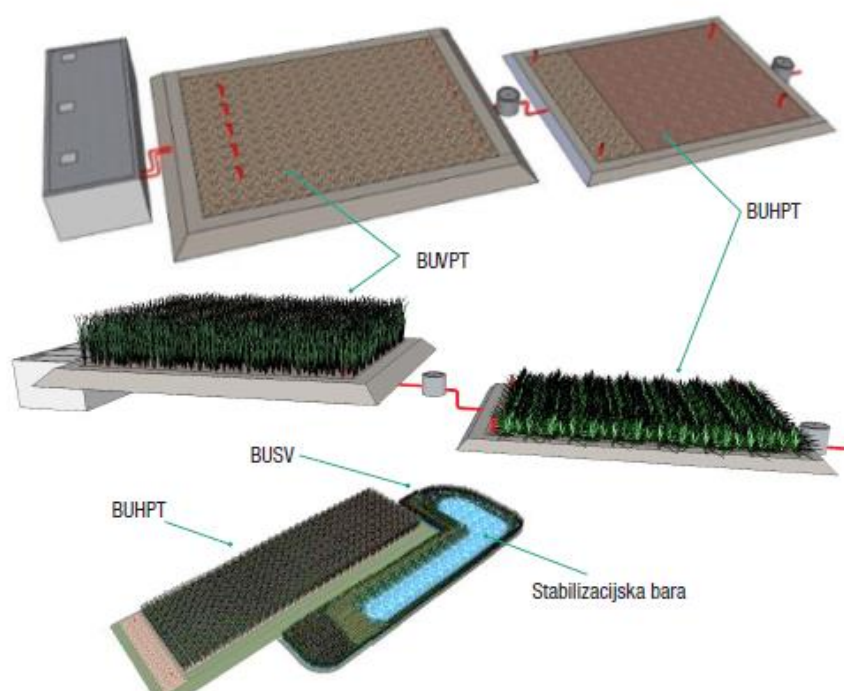
Dotjecanje otpadne vode do uređaja može biti kontinuirano i isprekidano, ovisno o terenu i mogućnostima konfiguriranja cjelokupnog uređaja. Neovisno o načinu dotjecanja, važno je osigurati ravnomjernu raspodjelu otpadne vode iz distribucijskih cijevi po čitavoj širini uređaja, što je neophodno za njegov uspješan rad. Horizontalno tečenje potpomognuto je malim uzdužnim padom dna uređaja. Središnji je dio najaktivniji u procesu pročišćavanja otpadnih voda u uređaju, stoga je on i najveći (Malus i Vouk, 2012.).

2.1.3. Hibridni biljni uređaji (HBU)

Biljni uređaji s površinskim i podpovršinskim tokom mogu se serijski povezati u hibridni biljni uređaji (slika 4). Kombinacijom različitih tipova koriste se prednosti svakog uređaja te se ostvaruje veća učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda, osobito pri uklanjanju dušika te patogena (Vymazal, 2010.).

Uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom (BUVPT) su se zbog održavanja aerobnih uvjeta pokazali pouzdanima u postizanju potpune nitrifikacije te se kod HBU najčešće primjenjuju kao prvi u nizu (na početku sustava). Zbog stalne potopljenosti kod uređaja s horizontalnim podpovršinskim tokom (BUHPT) većim dijelom vladaju anaerobni uvjeti, dok se aerobni uvjeti javljaju djelomično uz samo korijenje močvarne vegetacije kroz koje je osiguran prijenos kisika. Anaerobni uvjeti omogućuju odvijanje procesa denitrifikacije, ako je tomu prethodila nitrifikacija te se zato ti uređaji najčešće ugrađuju nakon BUVPT. Kod hibridnih uređaja česta je i kombinacija podpovršinskih uređaja i uređaja sa slobodnim vodnim licem (BUSV) koje se tada stavlja posljednje u nizu i preuzimaju funkciju završnog poliranja pročišćene vode (Malus i Vouk, 2012.).

Hibridni su se uređaji pokazali uspješni u pročišćavanju kanalizacijskih voda, procijedih voda odlagališta otpada, voda od komposta, iz klaonica, vinarija i akvakultura (Vymazal, 2010.). Različitim oblikovanjem i dimenzioniranjem, moguće je kreirati sustave sa znatno većim stupnjem uklanjanja otpadne tvari, čak i za primjenu u osjetljivim područjima (Malus i Vouk, 2012.) kod kojih je zakonski reguliran viši stupanj pročišćavanja otpadnih voda zbog postizanja ciljeva kakvoće voda (<http://geoportal.nipp.hr>).



Slika 4: Hibridni biljni uređaji, preuzeto iz Malus i Vouk, 2012.

2.2. MOČVARNA VEGETACIJA

Važnu ulogu u radu svih tipova biljnih uređaja, pogotovo onih s podpovršinskim tokom, ima močvarna vegetacija. Uređaj s podpovršinskim tokom prekriven je makrofitima čije stabljike i rizomi rastu kroz supstrat, a dio stabljike s listovima raste iznad površine (Malus i Vouk, 2012.). Biljke koje se koriste u uređajima trebaju biti tolerantne na višu koncentraciju organskih tvari i nutrijenata, imati razvijenu mrežu rizoma kako bi omogućili što veću površinu raspoloživu za kolonizaciju mikroorganizmima, te imati veliku nadzemnu biomasu za termičku izolaciju tokom tijekom zime u hladnijim područjima te za uklanjanje nutrijenata. Najčešće korištena vrsta u sklopu močvarnih sustava za pročišćavanje otpadnih voda je *Phragmites australis* (obična trska). Također često korištene su vrste roda *Typha* (*latifolia*, *angustifolia*, *domingensis*, *orientalis*, *glauca*) i *Scirpus* (*lacustris*, *validus*, *californicus*, *acutus*) (Vymazal, 2011.). U našim se krajevima uz trsku koriste *Sparganium erectum* (uspravni ježinac), *Iris pseudacorus* (žuta perunika), *Carex* sp. (šas) i *Phalaris arundinacea* (blještac) (Malus i Vouk, 2012.). Preporučuje se odabir autohtone močvarne vegetacije. Karakteristike koje posjeduju ove vrste su široka rasprostranjenost i prilagođenost različitim ekološkim uvjetima, među kojima je najbitnije podnošenje niskih temperatura ispod 0°C.

Uloga je močvarne vegetacije je da omogućuje prijenos kisika preko listova i stabljike do rizoma, odnosno, vrši se prijenos kisika u zonu korijenja. Vegetacija na sebe veže i dio otpadnih tvari iz otpadne vode (dušik i fosfor), pridonoseći visokoj učinkovitosti pročišćavanja otpadnih voda. Stabljike se pod utjecajem vjetra njišu i na taj način rahle supstrat održavajući hidrauličku provodljivost. Time se ujedno sprječava mogućnost začepjenja tijela ispune, a dodatno se osigurava i prijenos kisika unutar ispune otapanjem iz atmosfere. Uginula vegetacija osigurava dodatno hranjivo za rast i razvoj mikroorganizama koji sudjeluju u pročišćavanju otpadne vode. Tijekom zimskih mjeseci močvarna vegetacija djeluje kao toplinski izolator koji sprječava značajnije sniženje temperature vode unutar ispune i njezino smrzavanje, što se pozitivno odražava na odvijanje bioloških procesa razgradnje organske tvari. Vegetacija pridonosi povećanju estetske vrijednosti biljnih uređaja (Malus i Vouk, 2012.).

3. PRINCIP PROČIŠĆAVANJA BILJNIM UREĐAJEM

Procesi koji se odvijaju u biljnim uređajima predstavljaju kombinaciju fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa. Ti procesi oponašaju prirodu i na taj način obrađuju različite otpadne vode uklanjajući kontaminante (Šperac i sur, 2013.). U tablici 1. dan je popis najvažnijih mehanizama uklanjanja.

Tablica 1: Pregled mehanizama uklanjanja, preuzeto iz Šperac i sur, 2013.

tvori sadržane u otpadnoj vodi	mehanizmi uklanjanja
Ukupne suspendirane tvari	Sedimentacija i filtracija
Organske tvari (mjerene kao BPK)	Biološka degradacija i sedimentacija
Organski zagađivači	Adsorpcija, isparavanje, fotoliza
Fosfor	Sedimentacija, filtracija, adsorpcija biljkama i mikroorganizmima
Dušik	Sedimentacija, nitrifikacija/denitrifikacija, mikrobiološka razgradnja
Metali	Sedimentacija, adsorpcija biljkama, mikrobiološki redoks procesi
Patogeni mikroorganizmi	Sedimentacija, filtracija, prirodno odumiranje, UV zračenje, antibiotsko djelovanje iz korijena biljke

3.1. PREDTRETMAN OTPADNE VODE

Prije dotjecanja otpadne vode do biljnog uređaja potrebno je osigurati I. stupanj pročišćavanja voda. Iz otpadne se vode moraju izdvojiti suspendirane čestice, ulja i masti jer bi ispuštanje sirove otpadne vode u uređaj, bez prethodnog tretmana, rezultiralo učestalim začepljenjem ispune i smanjenom učinkovitosti pročišćavanja. Biljni uređaji s podpovršinskim tokom je osobito osjetljiv na učinkovitost predtretmana sirove vode, jer je kod njega bazen ispunjen poroznim supstratom čije se pukotine lagano začepi te se time smanji hidraulička provodljivost uređaja. Što je ispunjena bazena sitnije granulacije (pijesak) to je bitniji predtretman voda. Često pri začepljenju dolazi i do isplivavanja nepročišćene vode na površinu terena. Svaki oblik predtretmana sirove otpadne vode uklanjanja raspršene otpadne tvari, čestica ulja i masti te će osigurati i djelomično uklanjanje ostalih otpadnih tvari kao što su to organske tvari, fosfor i dušik. Predtretman se najčešće izvodi u obliku prethodnog taloženja u septičkim tankovima kod manjih uređaja ili kod većih uređaja u prethodnim taložnicima. Moguće je koristiti i protočne filtere kod smanjenog organskog opterećenja voda (Vučinić i sur., 2011.).

Septičke se jame sastoje od više vodonepropusnih komora u kojima dolazi do mehaničkih i bioloških procesa. Prilikom zadržavanja sirove otpadne vode, suspendirane čestice i drugi materijali će se istaložiti kao mulj na dnu komora zbog utjecaja gravitacije, dok će se masti, ulja i druge suspendirane

čestice isplivati na površinu vode te se tako lakše skupiti. Zbog nedostatka kisika dolazi do anaerobne razgradnje organskih tvari pod utjecajem mikroorganizama. Razgradnjom mulja, koji se istaložio na dnu, smanjuje se njegova količina i do četiri puta, što omogućuje veću produktivnost i dulje razdoblje između čišćenja spremnika (Malus i Vouk, 2012.).

3.2. UKLANJANJE ORGANSKIH TVARI I SUSPENDIRANIH ČESTICA

Sve vrste uređaja imaju visoki postotak uklanjanja organskih tvari. Kod uređaja sa slobodnim vodnim licem (BUSV) i uređaja s vertikalnim podpovršinskim tokom (BUVPT) uvjeti mikrobnog razlaganja su aerobni, dok kod uređaja s horizontalnim podpovršinskim tokom (BUHPT) prevladavaju anoksični i anaerobni procesi. Kod BUSV i BUHPT učinkovitost razlaganja je otprilike jednaka, dok se kod BUVPT ima više razlaganja zbog većih ulaznih koncentracija te se zato on i najčešće koristi kao prvi kod hibridnih uređaja. BUHPT se često koriste kod niskih ulaznih koncentracija npr. kod otpadnih voda koje su bile razrijeđene kišnicom. Sve su vrste uređaja vrlo uspješne u otklanjanju suspendiranih čestica iz otpadne vode (Vymazal, 2010.).

Tablica 2: Učinak uređaja u uklanjanju organskih tvari i suspendiranih čestica,
preuzeto iz Vymazal, 2010.

BU	BOD ₅				TSS			
	ulaz	izlaz	%	N	ulaz	izlaz	%	N
BUSV	161	42	74	50	185	43	77	52
	34.6	9.8	72	51	57.8	18.3	68	52
BUHPT	170	42	75	438	141	35	75	367
BUVPT	274	28	90	125	163	18	89	98

BU = tip biljnog uređaja

BOD₅ = biokemijska potrošnja kisika

TSS = ukupne suspendirane čestice

Ulaz = utjecaj (influent) u biljni uređaj

Izlaz = istjecaj (effluent) iz biljnog uređaja

% = postotak pročišćavanja na izlazu

N = ukupan broj uređaja

3.3. UKLANJANJE FOSFORA I DUŠIKA

Glavni mehanizmi pročišćavanja otpadnih voda od fosfora su taloženje na dnu i adsorpcija fosfora u biljkama. Pošto se sam fosfor vrlo teško adsorbira biljni se uređaji rijetko kada postavljaju s primarnim ciljem uklanjanja fosfora. Sama adsorpcija fosfora je vrlo niska obzirom na to koliko se obično javlja u otpadnim vodama. Razne su studije o kruženju fosfora u močvarama do sad pokazale da se najviše fosfora akumulira u tlu ili tresetu. Među biljnim uređajima do akumulacije zemlje dolazi samo kod uređaja sa slobodnim vodnim licem (BUSV) jer se vegetacija ne mijenja i otpadne su vode u kontaktu s gornjim slojem tla. Kod uređaja s podpovršinskim tokom (BUHPT i BUVPT) glavni mehanizmi uklanjanja fosfora su taloženje i adsorpcija, međutim materijali koji se koriste za ispunu bazena (šljunci i pijesci) imaju vrlo slab kapacitet za adsorpcije fosfora. Nedavno se počela koristiti LECA (agregat glatkih gлина) i drugi umjetni materijali veće adsorpcijske moći. Uporabom tih materijala uklanjanje fosfora je vrlo uspješno, ali se ne smije zaboraviti da se učinci adsorpcije i sedimentacije s vremenom smanjuju (Vymazal, 2010.).

Tablica 3: Učinak uređaja u uklanjanju fosfora, dušika i amonijaka, preuzeto iz Vymazal, 2010.

BU	UP				UN				NH ₄ -N			
	ulaz	izlaz	%	N	ulaz	izlaz	%	N	ulaz	izlaz	%	N
BUSV	14.7	9.7	34	52	42.6	23.5	45	29	30	16	48	40
	4.0	1.8	49	207	11.7	6.2	47	192				
	7.9	5.1	35	282	84	49.5	41	116	75	46	39	118
	3.6	1.8	50	52	10.9	4.6	58	36	5.8	2.7	53	59
BUHPT	9.6	4.8	50	272	63	36	43	208	36	22	39	305
					54	36	33	123	40	28	30	213
BUVPT	10.3	4.5	56	118	73	41	43	99	56	14.9	73	129

UP = ukupni fosfor

UN = ukupni dušik

Ulaz = utjecaj (influent) u biljni uređaj

Izlaz = istjecaj (effluent) iz biljnog uređaja

% = postotak pročišćavanja na izlazu

N = ukupan broj uređaja

Uklanjanje dušika iz sustava ovisi o nitrifikaciji, oksidaciji amonijaka u nitrat preko nitrita, i denitrifikaciji koja podrazumijeva redukciju nitrata u plinoviti dušik. Uklanjanje ukupnog dušika je uglavnom slabo zbog niske nitrifikacije u BUHPT te gotovo nikakvo ili kod BUSV i BUVPT. Kod uređaja sa slobodnim vodnim licem (BUSV) dušik se odstranjuje nitrifikacijom u aerobnom vodenom

stupcu i naknadnom denitrifikacijom u anoksičnom sloja na površini podloge. Zbog kontakta otpadnih voda s atmosferom značajno je isparavanje dušika. Tokom dana alge za vrijeme fotosinteze povećaju pH vode koja dodatno pospješuje isparavanje. Kod uređaja s vertikalnim podpovršinskim tokom (BUVPT) vrlo je visoka nitrifikacija, ali zbog potpuno aerobnih uvjeta u vertikalnom sloju nema denitrifikacije. Da bi se postiglo efikasno uklanjanje dušika u BUVPT treba se taj uređaj kombinirati s BUHPT kod kojeg nema nitrifikacije, već pruža prikladne uvjete za redukciju nitrata koji se stvaraju kod BUVPT. Također dolazi i do adsorpcije dušika u biljkama, ali one bi se trebale često brati i mijenjati (Vymazal, 2010.).

3.4. UKLANJANJE PATOGENA

Sanitarne indikatorske bakterije (ukupni koliformi, fekalni koliformi i fekalni streptokoki) normalni su sastav otpadnih voda domaćinstva te je njihovo uklanjanje potrebno. U prirodnim močvarama potrebno je mnogo vremena da bi došlo do uklanjanja tih bakterija. Kod biljnih uređaja uklanjanje patogeni potaknuto je raznim čimbenicima kao što su to niske temperature, ultraljubičasto zračenje, nepovoljan pH i sastav vode, predatorstvo, sedimentacija (Arias i sur., 2003.), a ovisi o granulaciji i tipu ispune bazena te dubina bazena (Morató i sur, 2014.). Kod uređaja s vertikalnim podpovršinskim tokom prosječni postotak uklanjanja patogeni je 99.5–99.9%, što je vrlo visoki stupanj uklanjanja obzirom da se kod BUVPT otpadna voda kratko zadržava u uređaju. Za veću efikasnost u uređaju preporuča se korištenje fosfornog filtera koji povećava moć filtracije (Arias i sur., 2003.). Kod uređaja s horizontalnim podpovršinskim tokom patogeni se najuspješnije uklanjaju filtracijom čija moć ovisi o dubini bazena i vrsti ispune. Dokazano je da su plitki bazeni sa sitnom granulacijom najuspješniji zbog toga što je otpadna voda u plićim bazenima većom površinom u kontaktu s rizomima makrofita. Nakon njih slijede plitki bazeni sa srednjom te plitki bazeni s krupnom granulacijom što dokazuje da je dubina bazena najbitniji parametar (Morató i sur, 2014.).

4. LITERATURA

Arias, C.A., Cabello, A., Brix, H., Johansen, N.H., 2003. Removal of indicator bacteria from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system; *Water Science & Technology* 5/48:35–41

Državni plan za zaštitu voda, 1999.; Narodne novine 107/95, NN 8/1999.

http://www.bieco.hr/hr/biljni_uredaji/7/3

<http://geoportal.nipp.hr/hr/application/find#|868715ee-84d5-4a68-ae07-e27452b655aa>

Malus, D., Vouk, D., 2012. Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet. pp 9-17, 31-33.

Morató, J. et al, 2014. Key design factors affecting microbial community composition and pathogenic organism removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands; *Science of the Total Environment* 481:81-89

Moshiri, G. A., 1993. Constructed wetlands for water quality improvement; CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, pp.1-35.

Šperac, M., Kaluđer, J., Šreng, Ž., 2013. Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda; *e-gfos* 7:76-86.

Vučinić, A.A., Hrenović, J., Tepes, P., 2011. Efficiency of subsurface flow constructed wetland with trickling filter; *Environmental Technology* 31/1:1-8

Vymazal, J., 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment; *Water* 2(3):530-549.;

Vymazal, J., 2011. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow; *Hydrobiologia* 674:133-156.

5. SAŽETAK

U zaštiti okoliša iznimno je bitno zbrinjavanje otpada i otpadnih voda. Biljni pročištači oponašaju prirodne močvare s ciljem stvaranja uvjeta kojima se pospješuje pročišćavanje otpadnih voda koje kroz njih protječu. Postoje uređaji sa slobodnim vodnim licem koji nalikuju pravim močvarama i uređaji s podpovršinskim tokom koji može biti vertikalni ili horizontalni. Kod uređaja s površinskim tokom na površini uz vodno lice odvijaju se aerobni procesi, dok se pri dnu odvijaju anaerobni. U ovom uređaju dolazi do slabe akumulacije fosfora dok se dušik odstranjuje nitrifikacijom u aerobnom vodenom stupcu i naknadnom denitrifikacijom u anoksičnom sloju na površini podloge. Kod uređaja s vertikalnim podpovršinskim tokom dolazi do otjecanja vode u intervalima, što omogućuje prozračivanje koje je važno za održavanje aerobnih uvjeta razgradnje organske tvari i postizanje potpune nitrifikacije. U uređajima s horizontalnim podpovršinskim tokom prevladavaju anaerobni uvjeti te se odvijaju anoksični procesi te dolazi do redukcije nitrata nastalih tokom denitrifikacije. Patogeni mikroorganizmi najbolje se uklanjaju filtracijom čija moć ovisi o dubini bazena i vrsti ispune. Ako postoji mogućnost preporuča se hibridni uređaj s dvije ili sve tri vrste uređaja, pošto svaki od uređaja ima neke svoje prednosti. Prije ispuštanja otpadnih voda u uređaj potrebno je provesti predtretman čišćenja otpadnih voda gdje se izdvajaju krupnije čestice, suspendirane čestice te masi i ulja. Biljke koje se koriste u ovim uređajima imaju visoku stopu uklanjanja nutrijenata i teških metala, povećavaju biološku raznolikost područja te ne narušavaju estetsku vrijednost krajolika.

6. SUMMARY

In environmental protection, a very important role plays the way we treat waste and wastewaters. Constructed wetlands are imitations of natural wetlands that stimulate the environment where the wastewater can be treated and purified. The two main types of constructed wetlands are free water surface wetlands, that look like natural ones, and subsurface flow constructed wetlands with vertical or horizontal water flow. In free water surface wetlands phosphorus retention is low while nitrogen is removed via nitrification in aerobic water column and subsequent denitrification in anoxic layer on the bed surface. In vertical flow constructed wetlands water flows in intervals, which enables aeration that provides aerobic conditions for degradation processes of organic compounds and nitrification. In horizontal flow constructed wetlands anoxic and anaerobic processes prevail, and provide suitable conditions for reduction of nitrate formed during nitrification. Pathogenic microorganisms are removed by filtration that depends on water depth and size of granular medium. Constructed wetlands could be combined in order to achieve a higher treatment effect by using advantages of individual systems. The wastewater should be treated before its arrival to constructed wetlands, bigger particles, suspended solids, oils and grease is isolated. Macrophytes used in wetlands are capable of removing nutrients and heavy metals, increase biodiversity and do not disturb the aesthetic value of the landscape.